

ИЗМЕРЕНИЕ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ И АМПЛИТУДЫ НЕИЗВЕСТНЫХ СВЧ-СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

О.Г. Морозов, М.Р. Нургазизов, А.А. Талипов, А.А. Федоров, Т.С. Садеев

(Казань, Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н. Туполева, microoil@mail.ru; talipov.anvar@gmail.com; ktagiru@mail.ru)

INSTANTANEOUS FREQUENCY AND AMPLITUDE MEASUREMENT OF UNKNOWN MICROWAVE SIGNALS USING DOUBLE-FREQUENCY PROBING

O.G. Morozov, M.R. Nurgazizov, A.A. Talipov, A.A. Fedorov, T.S. Sadeev

В данной статье предложен двухчастотный метод измерения мгновенной частоты и амплитуды неизвестных СВЧ-сигналов. Ключевые особенности метода заключаются в использовании для измерений характерных особенностей взаимодействия двухчастотного излучения и волоконной решетки Брэгга с фазовым π -сдвигом, что позволило получить измерительные характеристики, не зависящие от энергетических флуктуаций оптической несущей и СВЧ-сигнала, и снижение погрешностей измерений, вызванных температурными флуктуациями спектральных характеристик используемых элементов. Структурная схема системы измерения мгновенной частоты и амплитуды СВЧ-сигнала показана на рис. 1.



Рис. 1 Экспериментальная установка, ЛД – лазерный диод; ММЦ – модулятор Маха-Цендера; ФД – фотодетектор

Оптическая несущая DFB-лазера поступает на ММЦ, где модулируется СВЧ-сигналом, а затем разделяется на два канала в оптическом разветвителе 1×2 . По первому каналу излучение через вход циркулятора поступает на ВРБ, отражается от нее и с выхода циркулятора подается на первый фотодетектор ФД1. Второй канал с фотодетектором ФД2 используется как опорный. Находя в контроллере определения параметров неизвестного СВЧ-сигнала отношение сигналов на выходе ФД1 и ФД2 получаем функцию отношения мощностей, которая однозначно зависит от частоты СВЧ-сигнала и не зависит от мощности излучения лазера. Амплитуда неизвестного СВЧ-сигнала определяется по выходному сигналу ФД2. В отличие от известных методов для модуляции СВЧ-сигналом с неизвестной частотой ω_{RF} оптической несущей с частотой ω_0 выберем «нулевую» рабочую точку ММЦ, при работе в которой реализуется амплитудно-фазовое преобразование оптического одночастотного излучения по методу Ильина-Морозова [1], а выходное излучение представляет собой двухчастотное на частотах $\omega_0 - \omega_{RF}$ и $\omega_0 + \omega_{RF}$ с подавленной несущей ω_0 и равными амплитудами A_{-1} и A_{+1} , определяемыми функциями Бесселя первого рода. Ток на выходе фотодетектора ФД2 в опорном канале пропорционален

$$i(t) \propto A_{-1}^2 + A_{+1}^2 + A_{-1}A_{+1} \cos(2\omega_{RF}t) \quad (1)$$

а детектируемая мощность составляющей с частотой $2\omega_{RF}$ –

$$P_{\Pi} \propto A_{-1}^2 A_{+1}^2 = A_1^4, \quad (2)$$

где $A_{-1} = A_{+1} = A_1$. Для дисперсионного различения «частота-амплитуда» в отличие от известных решений выберем ВРБ с треугольным равносторонним спектром [2], которая характеризуется различным коэффициентом отражения для различных частот (рис. 2), определяемых линейной зависимостью

$$R(f_{RF}) = R_0 - kf_{RF} \quad (3)$$

где $f_{RF} = \omega_{RF}/2\pi$ (ГГц), R_0 – коэффициент отражения, соответствующий частоте подавленной оптической несущей ω_0 (дБ), k – угол наклона спектральной характеристики ВРБ на ее склонах (дБ/ГГц). Таким образом, при настройке центральной частоты ВРБ на частоту оптической несущей, составляющие двухчастотного излучения, прошедшие через ВРБ, в зависимости от частоты будут иметь амплитуду

$$A_{-1}^{ECI} = A_{+1}^{ECI} = A_1 [1 - 10^{(R_0 - kf_{RF})/20}]^2, \quad (4)$$

Детектируемая мощность на выходе ФД1 в измерительном канале на составляющей с частотой $2\omega_{RF}$

$$P_{ECI} \propto A_1^4 [1 - 10^{(R_0 - kf_{RF})/20}]^2. \quad (5)$$

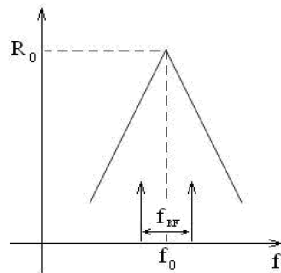


Рис. 2 – ВРБ с треугольным спектром

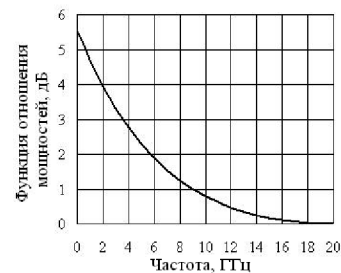


Рис. 3 – Зависимость ρ от f_{RF}

Определив частотно-зависимую функцию отношения мощностей как $\rho = P_{ECI} / P_{II}$, получим

$$\rho = [1 - 10^{(R_0 - kf_{RF})/20}]^2. \quad (6)$$

На рис. 3 показана однозначная зависимость между ρ и f_{RF} , которая не зависит от мощности излучения лазера и мощности СВЧ-сигнала. Таким образом, зная только отношение мощностей ρ , мы можем определить мгновенную частоту неизвестного СВЧ-сигнала f_{RF} .

При точной настройке частоты оптической несущей на центральную частоту ВРБ амплитуды частотных составляющих будут равны $A_{-1}^{ECI} = A_{+1}^{ECI}$, а коэффициент модуляции частоты их биений равен 1. При уходе настройки амплитуды частотных составляющих будут неравны $A_{-1}^{ECI} \neq A_{+1}^{ECI}$, а коэффициент модуляции будет меньше 1. В контроллере по значению коэффициента модуляции можно определить величину расстройки, по величине разности фаз огибающих на выходе ФД2 и ФД1 или ее знаку – направление расстройки и скомпенсировать их. При точном равенстве рабочей точки «нулю» модуляционной характеристики ММЦ в спектре выходного сигнала ФД2 будет присутствовать только огибающая на частоте $2\omega_{RF}$. При уходе рабочей точки в спектре появится составляющая на частоте ω_{RF} , как результат биений между подавленной до конца оптической несущей ω_0 и составляющими двухчастотного излучения $\omega_0 - \omega_{RF}$ и $\omega_0 + \omega_{RF}$. По отношению амплитуд огибающих на частотах $2\omega_{RF}$ и ω_{RF} в контроллере можно определить величину ухода рабочей точки и скомпенсировать его [3].

Литература

1. А 1338647 SU 4 G02F 1/03. Способ преобразования одночастотного когерентного излучения в двухчастотное / Ильин Г.И., Морозов О.Г. (Казан. авиац. ин-т им. А.Н. Туполева). №3578456/31-25; Заявл. 13.04.83; Оpubл. 20.04.2004
2. Zhang, X. Microwave Frequency Measurement Using Fiber Bragg Grating as V-shape Filter / X. Zhang, J. Ni, P. Cheng, Z. Li // ICDMA. – 2010. Vol. 1, P. 921–924.
3. Морозов О.Г. Модуляционные методы измерений в оптических биосенсорах рефрактометрического типа на основе волоконных решеток Брэгга с фазовым сдвигом / О.Г. Морозов, О.А. Степущенко, И.Р. Садыков // Вестник МарГТУ. – 2010. No. 3 – С. 3-13.